

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5548159号  
(P5548159)

(45) 発行日 平成26年7月16日(2014.7.16)

(24) 登録日 平成26年5月23日(2014.5.23)

(51) Int.Cl.	F I	
GO 1 N 23/225 (2006.01)	GO 1 N 23/225	
GO 1 B 11/02 (2006.01)	GO 1 B 11/02	H
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66	J
HO 1 J 37/22 (2006.01)	HO 1 J 37/22	5 O 2 F
HO 1 J 37/244 (2006.01)	HO 1 J 37/22	5 O 2 H
請求項の数 14 (全 25 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2011-87197(P2011-87197)  
 (22) 出願日 平成23年4月11日(2011.4.11)  
 (65) 公開番号 特開2012-112927(P2012-112927A)  
 (43) 公開日 平成24年6月14日(2012.6.14)  
 審査請求日 平成25年2月6日(2013.2.6)  
 (31) 優先権主張番号 特願2010-248446(P2010-248446)  
 (32) 優先日 平成22年11月5日(2010.11.5)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 390005175  
 株式会社アドバンテスト  
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号  
 (73) 特許権者 000003193  
 凸版印刷株式会社  
 東京都台東区台東1丁目5番1号  
 (74) 代理人 100091672  
 弁理士 岡本 啓三  
 (72) 発明者 小木曾 祥明  
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内  
 (72) 発明者 米倉 勲  
 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 欠陥レビュー装置及び欠陥レビュー方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子ビームを試料表面の観察領域に照射するとともに、前記観察領域内で前記電子ビームを走査させる電子走査部と、

前記電子ビームの光軸の周りに配置され、前記電子ビームの照射によって前記試料の表面から放出される電子を検出する複数の電子検出器と、

前記電子検出器の検出信号に基づいて、前記観察領域をそれぞれ異なる方向から写した複数の画像データを生成する信号処理部と、

前記複数の画像データの各々の差分をとった差分画像を生成し、該差分画像に基づいて前記観察領域内の欠陥を検出する欠陥検査部と、

を備え、

前記欠陥検査部は、前記観察領域のパターンがラインパターンとスペースとからなるラインアンドスペースパターンである場合には、前記ラインパターンの延在方向に平行で且つ前記電子ビームの光軸を挟んで対向する2方向からの前記画像データの差分を取って前記差分画像を生成し、該差分画像に残ったパターンを欠陥として検出することを特徴とする欠陥レビュー装置。

【請求項2】

前記電子検出器は、前記電子ビームの光軸の周りに相互に均等な角度を開けて、少なくとも2台以上配置されていることを特徴とする請求項1に記載の欠陥レビュー装置。

【請求項3】

前記観察領域は矩形形状に設定され、前記電子検出器は、矩形形状の前記観察領域の対角線方向に4台設けられていることを特徴とする請求項2に記載の欠陥レビュー装置。

【請求項4】

前記信号処理部は、隣り合う前記電子検出器の検出信号を加算することにより前記各電子検出器の中間の方向から前記観察領域を写した画像データを生成することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の欠陥レビュー装置。

【請求項5】

前記観察領域のパターンがラインアンドスペースパターン以外のパターンである場合に、前記観察領域の画像データと前記観察領域の設計上のパターンを表す設計データとを比較することにより欠陥を検出する比較検査部を備えることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の欠陥レビュー装置。

10

【請求項6】

前記比較検査部は、前記観察領域の一方の対角線方向の画像データ同士の差分をとった画像と、前記観察領域の他方の対角線方向の画像データ同士の差分をとった画像とを加算することにより斜め方向のエッジを強調したエッジ強調画像を生成し、該エッジ強調画像と前記設計データのパターンのエッジとを比較することにより欠陥を検出することを特徴とする請求項5に記載の欠陥レビュー装置。

【請求項7】

前記欠陥の凹凸を測定する欠陥凹凸測定部を備え、

前記欠陥凹凸測定部は、前記電子ビームの光軸を挟んで対向する2方向からの画像データの差分値の分布を示す差分プロファイルを求め、さらに前記差分プロファイルを積分して前記積分プロファイルを求め、前記欠陥を反映して前記積分プロファイルに現れる形が凹であるか凸であるかに基づいて、前記欠陥が凹であるか凸であるかを判別することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の欠陥レビュー装置。

20

【請求項8】

前記欠陥凹凸測定部は、高さが既知の参照パターンについて前記積分プロファイルを求め、前記参照パターンについての前記積分プロファイルのピーク値と、前記欠陥を反映した前記積分プロファイルのピーク値とを比較することにより、前記欠陥の高さを算出することを特徴とする請求項7に記載の欠陥レビュー装置。

【請求項9】

前記信号処理部は、隣り合う前記電子検出器の検出信号に前記ラインパターンの角度に応じて変化する係数を乗じて加算することにより、前記ラインパターンの延在方向に平行で、且つ前記電子ビームの光軸を挟んで対向する2方向から前記観察領域を写した画像データを生成することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の欠陥レビュー装置。

30

【請求項10】

電子ビームを試料の表面の観察領域に照射しつつ走査させるとともに、前記電子ビームの照射によって前記試料の表面から放出される電子を前記電子ビームの光軸の周りに配置された複数の電子検出器で検出するステップと、

前記電子検出器からの検出信号に基づいて、前記観察領域をそれぞれ異なる方向から写した複数の画像データを生成するステップと、

40

前記複数の画像データの各々の差分をとった差分画像を生成し、該差分画像に基づいて前記観察領域内の欠陥を検出するステップと、

を有し、

前記欠陥を検出するステップは、

前記観察領域のパターンがラインパターンとスペースとからなるラインアンドスペースパターンである場合には、前記ラインパターンの延在方向に平行で且つ前記電子ビームの光軸を挟んで対向する2方向からの前記画像データの差分を取って前記差分画像を生成するステップと、

前記差分画像に残ったパターンを欠陥として検出するステップと、

50

を有することを特徴とする欠陥レビュー方法。

【請求項 1 1】

前記観察領域のパターンがラインアンドスペースパターン以外のパターンである場合には、前記観察領域の画像データと前記観察領域の設計上のパターンを表す設計データとを比較することにより欠陥を検出するステップを有することを特徴とする請求項 1 0 に記載の欠陥レビュー方法。

【請求項 1 2】

検出された前記欠陥の凹凸を測定するステップを更に有し、  
前記凹凸を測定するステップは、  
前記電子ビームの光軸を挟んで対向する 2 方向からの画像データの差分値の分布を示す差分プロファイルを求めるステップと、  
前記差分プロファイルを積分して前記積分プロファイルを求めるステップと、  
前記欠陥を反映して前記積分プロファイルに現れる形が凹であるか凸であるかに基づいて、前記欠陥が凹であるか凸であるかを判別するステップと、  
を有することを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 1 のいずれか 1 項に記載の欠陥レビュー方法。

【請求項 1 3】

前記前記欠陥の凹凸を測定するステップは、  
高さが既知の参照パターンについて前記積分プロファイルを求めるステップと、  
前記参照パターンについての前記積分プロファイルのピーク値と、前記欠陥を反映した前記積分プロファイルのピーク値とを比較することにより、前記欠陥の高さを算出するステップと、  
を有することを特徴とする請求項 1 2 に記載の欠陥レビュー方法。

【請求項 1 4】

前記画像データを生成するステップでは、  
隣り合う前記電子検出器の検出信号に前記ラインパターンの角度に応じて変化する係数を乗じて加算することにより前記ラインパターンの延在方向に平行で、且つ前記電子ビームの光軸を挟んで対向する 2 方向から前記観察領域を写した画像データを生成することを特徴とする請求項 1 0 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の欠陥レビュー方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、欠陥レビュー装置及び欠陥レビュー方法に関し、特に電子ビームを試料表面に照射して欠陥の観察を行う欠陥レビュー装置及び欠陥レビュー方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

近年の半導体装置の微細化にともない、ウェハやフォトリソマスク等のパターンの微細化が進み、より微細な欠陥が製造歩留まりに大きく影響するようになってきていることから、欠陥検査の重要性が増している。

【0 0 0 3】

このようなウェハやフォトリソマスクの欠陥検査では、まずスループットが高い光学式の検査装置を使用した検査を行なう。光学式の検査装置によれば、例えば 1 0 n m 以下といった非常に微細な欠陥を検出することもできるが、解像度の制約により欠陥の形状までは判別できない。

【0 0 0 4】

そこで、光学式の検査装置で欠陥が検出された場合には、次の欠陥レビュー工程で欠陥の位置、形状及び大きさを確認する。この欠陥レビュー工程では、走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron microscope; S E M) を使用し、高倍率の S E M 画像に基づいて、光学式器の検査装置では捉えきれない微細な欠陥の形状の計測を行う。

【0 0 0 5】

10

20

30

40

50

また、引用文献 1 には、複数（2 台）の電子検出器を設置した走査型電子顕微鏡により試料表面の形状を三次元的に観察する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開平 3 - 192645 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記の欠陥レビュー工程では、まず SEM 画像において欠陥を特定する必要がある。そのため、試料の SEM 画像と、欠陥の無いパターンを表す設計データ等とのパターンマッチング（比較処理）を行なって欠陥を検出している。

10

【0008】

しかし、パターンマッチングによる欠陥検出では多量の計算が必要とされ、欠陥の検出に比較的長い時間を要することから迅速に欠陥レビューを行うことができないという問題がある。

【0009】

そこで、本発明は迅速に欠陥レビューを行うことができる欠陥レビュー装置及び欠陥レビュー方法を提供すること目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0010】

本発明によれば、電子ビームを試料表面の観察領域に照射するとともに、前記観察領域内で前記電子ビームを走査させる電子走査部と、前記電子ビームの光軸の周りに配置され、前記電子ビームの照射によって前記試料の表面から放出される電子を検出する複数の電子検出器と、前記電子検出器の検出信号に基づいて、前記観察領域をそれぞれ異なる方向から写した複数の画像データを生成する信号処理部と、前記複数の画像データの各々の差分をとった差分画像を生成し、該差分画像に基づいて前記観察領域内の欠陥を検出する欠陥検査部と、を備え、前記欠陥検査部は、前記観察領域のパターンがラインパターンとスペースとからなるラインアンドスペースパターンである場合には、前記ラインパターンの延在方向に平行で且つ前記電子ビームの光軸を挟んで対向する 2 方向からの前記画像データの差分を取って前記差分画像を生成し、該差分画像に残ったパターンを欠陥として検出する欠陥レビュー装置が提供される。

30

【0012】

また、本発明の別の観点によれば、電子ビームを試料の表面の観察領域に照射しつつ走査させるとともに、前記電子ビームの照射によって前記試料の表面から放出される電子を前記電子ビームの光軸の周りに配置された複数の電子検出器で検出するステップと、前記電子検出器からの検出信号に基づいて、前記観察領域をそれぞれ異なる方向から写した複数の画像データを生成するステップと、前記複数の画像データの各々の差分をとった差分画像を生成し、該差分画像に基づいて前記観察領域内の欠陥を検出するステップと、を有し、前記欠陥を検出するステップは、前記観察領域のパターンがラインパターンとスペースとからなるラインアンドスペースパターンである場合には、前記ラインパターンの延在方向に平行で且つ前記電子ビームの光軸を挟んで対向する 2 方向からの前記画像データの差分を取って前記差分画像を生成するステップと、前記差分画像に残ったパターンを欠陥として検出するステップと、を有する欠陥レビュー方法が提供される。

40

【発明の効果】

【0013】

上記の欠陥レビュー装置及び欠陥レビュー方法によれば、複数の画像データの各々の差分を取ることにより、欠陥のみが現れた差分画像を生成する。これにより、欠陥を容易かつ迅速に検出でき、欠陥レビューを迅速に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 0 1 4 】

【図 1】図 1 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置を示すブロック図である。

【図 2】図 2 は、図 1 の欠陥レビュー装置の電子検出器の配置を示す模式図である。

【図 3】図 3 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置を用いた欠陥レビュー方法を示すフローチャートである。

【図 4】図 4 は、信号処理部が生成する画像データの一例を示す模式図である。

【図 5】図 5 は、試料表面のパターンの一例を示す平面図である。

【図 6】図 6 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置による欠陥の検出方法を示すフローチャートである。

【図 7】図 7 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置によるラインアンドスペースパターン上の欠陥検出の原理を説明する模式図である。 10

【図 8】図 8 は、ラインアンドスペースパターンの方向に応じた差分画像の生成方法を説明する模式図である。

【図 9】図 9 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置における欠陥の凹凸及び高さの測定の原理を説明する模式図である。

【図 10】図 10 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置による欠陥の凹凸及び高さの測定方法を示すフローチャートである。

【図 11】図 11 は、第 1 の実施形態に係る欠陥の凹凸及び高さの測定方法を説明する図である。

【図 12】図 12 は、実験例 1 の試料の SEM 画像及び差分画像を示す図である。 20

【図 13】図 13 は、実験例 1 の欠陥の差分プロファイル及び積分プロファイルを示す図である。

【図 14】図 14 は、実験例 1 の参照パターンの差分画像、差分プロファイル及び積分プロファイルを示す図である。

【図 15】図 15 は、実験例 2 の試料の SEM 画像及び差分画像を示す図である。

【図 16】図 16 は、実験例 2 の欠陥の差分プロファイル及び積分プロファイルを示す図である。

【図 17】図 17 は、実験例 2 の参照パターンの差分画像、差分プロファイル及び積分プロファイルを示す図である。

【図 18】図 18 は、第 1 の実施形態の変形例に係る欠陥レビュー装置の電子検出器の配置を示す模式図である。 30

【図 19】図 19 は、図 18 に示す変形例における差分画面の生成方法を説明する模式図である。

【図 20】図 20 は、第 2 の実施形態に係る欠陥レビュー方法を示すフローチャートである。

【図 21】図 21 は、第 2 の実施形態に係る画像の生成方法を示すフローチャートである。

【図 22】図 22 は、第 2 の実施形態におけるラインパターンの角度の定義を示す図である。

【図 23】図 23 は、第 2 の実施形態における左画像、右画像、上画像及び下画像の生成方法を説明する模式図である。 40

【図 24】図 24 は、第 2 の実施形態における左画像、右画像、上画像及び下画像の生成に用いる係数を示す図である。

【図 25】図 25 は、第 2 の実施形態に係る欠陥の検出方法を示すフローチャートである。

【図 26】図 26 ( a ) ~ ( d ) は、実験例 3 の試料の左下画像、左上画像、右上画像及び右下画像をそれぞれ示す図である。

【図 27】図 27 ( a ) ~ ( d ) は、実験例 3 の試料の左画像、右画像、上画像及び下画像の輝度の分布をそれぞれ示す図である。

【図 28】図 28 は、実験例 3 の試料の差分プロファイルを示す図である。 50

【図 29】図 29 は、実験例 3 の試料の積分プロフィールを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、実施形態について添付の図面を参照して説明する。

【0016】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置を示すブロック図であり、図 2 は、第 1 の実施形態に係る欠陥レビュー装置の電子検出器の配置を示す模式図である。

【0017】

図 1 に示すように、本実施形態の欠陥レビュー装置 100 は、試料 8 を収容するチャンパー 2 と、試料 8 に電子線を照射する電子走査部 1 と、電子走査部 1 及びチャンパー 2 内のステージ 7 の制御並びに測定データの処理を行う制御部 10 とに大別される。

【0018】

電子走査部 1 は、電子銃 3 を備え、電子銃 3 からは電子ビーム 31 が放出される。この電子ビーム 31 はコンデンサレンズ 4 で集束され、偏向コイル 5 で位置決めされた後、対物レンズ 6 による焦点合わせを経て試料 8 の表面に照射される。

【0019】

また、電子走査部 1 には、試料表面から放出される電子を検出するための 4 つの電子検出器 9a ~ 9d が設けられている。

【0020】

図 2 に示すように、第 1 ~ 第 4 の電子検出器 9a ~ 9d は、電子ビーム 31 の照射方向から見て、電子ビーム 31 の光軸の周りに相互に 90° の角度を開けて対称に配置されている。ここでは、各電子検出器 9a ~ 9d は矩形の観察領域 81 の対角線方向に配置されるものとする。これらの電子検出器 9a ~ 9d は、例えばシンチレータ等よりなり、試料 8 の上に電子ビーム 31 を照射することによって発生する二次電子や反射電子を捕捉して、各検出器の設置位置における電子量を、それぞれ信号 ch1 ~ ch4 として出力する。

【0021】

図 1 のように、チャンパー 2 には、支持体 7a を上部に備えたステージ 7 が設けられている。このステージ 7 は支持体 7a を介してウェハやフォトマスク等の試料 8 を保持するとともに、不図示の駆動機構により試料 8 を移動させることができる。

【0022】

制御部 10 は、試料 8 の表面の観察対象となる領域 (観察領域) 81 (図 2 参照) を設定する欠陥座標処理部 14 と、観察領域 81 に対応する部分の設計データを抽出する設計データ処理部 15 とを備える。設計データは、試料であるフォトマスクやウェハのパターンの形状を表すデータであり、欠陥を含まないパターンの基準として、観察領域 81 のパターンの形状の判別や欠陥の検出等に用いられる。

【0023】

さらに、制御部 10 は、電子検出器 9a ~ 9d からの信号を処理して画像データ (SEM 画像) を生成する信号処理部 11 と、信号処理部 11 で生成された画像データに基づいて欠陥の検出を行う欠陥検査部 12 及び比較検査部 13 と、欠陥の凹凸及び高さを測定する欠陥凹凸測定部 16 とを備える。

【0024】

以下、欠陥レビュー装置 100 を用いた欠陥レビュー方法について説明する。図 3 は、欠陥レビュー装置 100 による欠陥レビュー方法を示すフローチャートである。

【0025】

まず、図 3 のステップ S11 のように、制御部 10 の欠陥座標処理部 14 が欠陥座標データに基づいて試料 8 の表面に矩形の観察領域 81 を設定する。なお、欠陥座標データは、光学式の検査装置等で検出された欠陥の位置を表す座標データであり、通信回線などを通じて欠陥座標処理部 14 に入力される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 6 】

次のステップS 1 2において、制御部 1 0 の設計データ処理部 1 5 が欠陥座標処理部 1 4 で設定された観察領域 8 1 の設計データを抽出し、これを記憶部（不図示）に記憶させる。

## 【 0 0 2 7 】

次に、ステップS 1 3において、制御部 1 0 の制御の下で電子走査部 1 及びステージ 7 を駆動させて試料 8 の観察を行う。ここでは、制御部 1 0 がステージ 7 に制御信号を出力して、試料 8 の位置決めを行なう。その後、制御部 1 0 が電子走査部 1 に制御信号を出力して電子ビーム 3 1 を試料 8 の観察領域 8 1 内に照射して走査させる。このとき試料表面から放出される電子は電子検出器 9 a ~ 9 d によって捕捉され、電子検出器 9 a ~ 9 d は検出した電子の量を信号 c h 1 ~ c h 4 として信号処理部 1 1 に送出する。

10

## 【 0 0 2 8 】

次のステップS 1 4において、制御部 1 0 の信号処理部 1 1 は、電子検出器 9 a ~ 9 d から送出された信号 c h 1 ~ c h 4 を A D 変換器でデジタル信号に変換し、このデジタル信号に基づいて画像データ（SEM画像）を生成する。

## 【 0 0 2 9 】

図 4 は、信号処理部 1 1 が生成する画像データを示す模式図である。

## 【 0 0 3 0 】

図 4 に示すように、信号処理部 1 1 は、信号 c h 1 ~ c h 4 に基づいて左下画像 a 1、左上画像 a 2、右上画像 a 3 及び右下画像 a 4 を生成する。左下画像 a 1、左上画像 a 2、右上画像 a 3 及び右下画像 a 4 は、観察領域 8 1 をそれぞれ左下、左上、右上及び右下の各方向から写した SEM 画像に相当する。

20

## 【 0 0 3 1 】

また、信号処理部 1 1 は、隣接する電子検出器からの信号同士を加算することにより、各電子検出器 9 a ~ 9 d の中間方向（左、右、下、及び上）から観察領域 8 1 を写した SEM 画像に相当する、左画像 a 5、右画像 a 6、下画像 a 7 及び上画像 a 8 を生成する。

## 【 0 0 3 2 】

さらに、信号処理部 1 1 は、c h 1 ~ c h 4 を全て加算することにより、全加算画像 a 9 を生成する。この全加算画像 a 9 は、通常の走査型電子顕微鏡による二次電子像と同様な画像であり、全ての方向のエッジが略同一の高い輝度で表示されるため、欠陥の平面形状の測定等に用いられる。

30

## 【 0 0 3 3 】

信号処理部 1 1 で生成された画像 a 1 ~ a 8 は、それぞれ異なる向きのエッジ（斜面）が強調されて表示される。ここに、図 5 は試料 8 の表面の凸状のパターンの一例を示す図である。図 5 において、7 1 は左下、左上、右上及び右下の各方向を向いたエッジ 7 1 a ~ 7 1 d を有する凸状のパターンを示し、7 2 は左、右、下及び上の各方向を向いたエッジ 7 2 a ~ 7 2 d を有する凸状のパターンを示す。

## 【 0 0 3 4 】

図 5 のような試料を観察すると、左下画像 a 1 では左下を向いたエッジ 7 1 a が最も高い輝度を示し、左上画像 a 2 では左上を向いたエッジ 7 1 b が最も高い輝度を示す。また、右上画像 a 3 及び右下画像 a 4 では、それぞれエッジ 7 1 c、エッジ 7 1 d が最も高い輝度を示す。そして、左画像 a 5、右画像 a 6、下画像 a 7 及び上画像 a 8 では、それぞれエッジ 7 2 a、エッジ 7 2 b、エッジ 7 2 c 及びエッジ 7 2 d が最も高い輝度を示す。

40

## 【 0 0 3 5 】

以上のようにして、信号処理部 1 1 で生成された画像データは記憶部（不図示）に記憶される。

## 【 0 0 3 6 】

その後、図 3 のステップS 1 5 において、欠陥検査部 1 2 又は比較検査部 1 3 で欠陥の検出を行い、ステップS 1 6 において、欠陥凹凸測定部 1 6 が欠陥の凹凸及び高さの測定を行う。

50

## 【 0 0 3 7 】

以下、ステップ S 1 5 の欠陥の検出方法及びステップ S 1 6 の欠陥の凹凸及び高さの測定方法について更に詳しく説明する。

## 【 0 0 3 8 】

図 6 は欠陥レビュー装置 1 0 0 による欠陥の検出方法を示すフローチャートである。図 7 は、欠陥レビュー装置 1 0 0 によるラインアンドスペースパターン上の欠陥検出の原理を説明する模式図である。図 8 は、ラインアンドスペースパターンの方向に応じた差分画像の生成方法を説明する模式図である。

## 【 0 0 3 9 】

図 6 に示すように、先ずステップ S 2 1 において、制御部 1 0 は、観察領域 8 1 の設計データを参照して、観察領域 8 1 のパターンが、縦、横、斜め 4 5 ° 及び斜め 1 3 5 ° のラインアンドスペースパターンであるか否かを判断する。観察領域 8 1 のパターンが縦、横、斜め 4 5 ° 及び斜め 1 3 5 ° のラインアンドスペースパターンである場合 ( Y E S ) には、ステップ S 2 2 に移行して欠陥検査部 1 2 による欠陥の検出を行う。

## 【 0 0 4 0 】

ステップ S 2 2 では、欠陥検査部 1 2 がラインパターンの延在方向に平行であって、電子ビーム 3 1 の光軸を挟んで向かい合う 2 方向からの画像データを記憶部から取得し、これらの画像データの差分を取って差分画像を生成する。

## 【 0 0 4 1 】

例えば、図 7 に示すように、観察領域 8 1 のパターンが横方向のラインアンドスペースパターンである場合には、欠陥検査部 1 2 は、左画像 a 5 と、右画像 a 6 を記憶部から取得してこれらの差分をとる。なお、図 7 において、符号 9 9 a、9 9 b は、それぞれ左画像 a 5 及び右画像 a 6 に対応する仮想的な電子検出器の位置を示すものとする。

## 【 0 0 4 2 】

図示のように、ラインパターン 8 3 の縁にはエッジ 8 3 a、8 3 b 存在するが、これらのエッジ 8 3 a、8 3 b の向き ( 法線方向 ) は、電子検出器 9 9 a 及び電子検出器 9 9 b の間の方向を向いている。そのため、これらのエッジ 8 3 a、8 3 b は、左画像 a 5 及び右画像 a 6 においてほぼ同じ輝度を示す。また、ラインパターン 8 3 の上面及びスペース 8 2 の向き ( 法線方向 ) は、電子検出器 9 9 a 及び電子検出器 9 9 b の中間の方向であるため、これらの部分も左画像 a 5 及び右画像 a 6 において同じ輝度で表される。そのため、左画像 a 5 及び右画像 a 6 との差分を取ると、エッジ 8 3 a、8 3 b、ラインパターン 8 3、及びスペース 8 2 が相殺されてラインアンドスペースパターンが消去される。

## 【 0 0 4 3 】

一方、欠陥 8 5 には電子検出器 9 9 a 側を向いたエッジ 8 5 a と、電子検出器 9 9 b 側を向いたエッジ 8 5 b とが存在する。この場合、左画像 a 5 ではエッジ 8 5 a の輝度がエッジ 8 5 b の輝度よりも高くなる。また、右画像 a 6 ではエッジ 8 5 b の輝度がエッジ 8 5 a の輝度よりも高くなる。そのため、左画像 a 5 と右画像 a 6 との差分を取ると、欠陥 8 5 のエッジ 8 5 a、8 5 b が除去されずに残る。

## 【 0 0 4 4 】

したがって、左画像 a 5 と右画像 a 6 との差分を取ることにより、ラインアンドスペースパターンが消去され、欠陥 8 5 のみが現れた差分画像が得られる。

## 【 0 0 4 5 】

なお、図 8 ( a ) のようにラインアンドスペースパターンの向きが縦 ( 0 ° ) の場合には、下画像 a 7 と上画像 a 8 との差分を取れば、欠陥のみが残った差分画像が得られる。また、図 8 ( b ) のような斜め 4 5 ° のラインアンドスペースパターンの場合は、左下画像 a 1 と右上画像 a 3 との差分をとれば良く、図 8 ( c ) のような斜め 1 3 5 ° のラインアンドスペースパターンの場合は、左上画像 a 2 と右下画像 a 4 との差分をとればよい。

## 【 0 0 4 6 】

その後、図 6 のステップ S 2 3 において、欠陥検査部 1 2 は、ステップ S 2 2 で求めた差分画像に基づいて欠陥を検出する。この場合、例えば差分画像からエッジを抽出する処

10

20

30

40

50

理を行うことにより迅速に欠陥を検出できる。

【 0 0 4 7 】

一方、ステップ S 2 1 において、観察領域 8 1 のパターンが縦、横、斜め 4 5 ° 及び斜め 1 3 5 ° のラインアンドスペースパターンではないと判断された場合 ( N O ) には、ステップ S 2 4 に移行して比較検査部 1 3 による欠陥の検出を行う。

【 0 0 4 8 】

ステップ S 2 4 では、比較検査部 1 3 が斜め方向のエッジを強調したエッジ強調画像を生成する。ここでは、左下画像 a 1 及び右上画像 a 3 の差分を取ることで、左上と右下とを結ぶ対角線方向のエッジを強調した画像を生成する。また、左上画像 a 2 及び右下画像 a 4 の差分を取ることで、左下と右上とを結ぶ対角線方向のエッジを強調した画像を生成する。そして、左下画像 a 1 及び右上画像 a 3 の差分を取った画像と、左上画像 a 2 及び右下画像 a 4 の差分を取った画像とを加算することにより、斜め方向のエッジを強調したエッジ強調画像を生成する。

10

【 0 0 4 9 】

次に、ステップ S 2 5 において、比較検査部 1 3 は、ステップ S 2 4 で生成したエッジ強調画像と、設計データとを重ね合わせ比較して、エッジ強調画像と設計データとのエッジ位置の相違部分に基づいて欠陥を検出する。このように、比較検査部 1 3 による検出処理により、所定方向のラインアンドスペースパターン以外の任意のパターンの欠陥を検出できる。

【 0 0 5 0 】

次に、上記の方法で検出した欠陥の凹凸及び高さ ( 又は深さ ) の測定方法について説明する。図 9 は、欠陥の凹凸及び高さの測定の原理を説明する模式図である。

20

【 0 0 5 1 】

一般に、凹凸を有する試料表面を電子ビーム 3 1 で走査したときに、電子検出器からの信号の強度は電子ビーム 3 1 が照射されている部分の試料表面の向きに応じて変化する。すなわち、電子ビーム 3 1 が照射されている部分の試料表面の向き ( 法線方向 ) が電子検出器の設置方向に近い程、電子検出器からの信号の強度が大きくなる。

【 0 0 5 2 】

したがって、図 9 ( a ) のような断面を有する試料の表面に沿って電子ビーム 3 1 を走査させ、電子ビーム 3 1 を挟んで向かい合う 2 台の電子検出器 9 9 a 、 9 9 b で試料表面から放出される電子を検出すると、電子検出器 9 9 a からは図 9 ( b ) の信号波形が得られ、電子検出器 9 9 b からは図 9 ( c ) の信号波形が得られる。

30

【 0 0 5 3 】

図 9 ( b ) に示すように、電子検出器 9 9 a の信号波形は、電子検出器 9 9 a 側を向いた凹凸 8 7 の左側の斜面で高くなり、電子検出器 9 9 a の設置方向から離れた方向を向いた凹凸 8 7 の右側の斜面で低くなる。すなわち、図 9 ( b ) の信号波形は、電子検出器 9 9 a の設置方向に対する試料表面の向き ( 法線方向 ) を反映している。

【 0 0 5 4 】

また、図 9 ( c ) に示すように、電子検出器 9 9 b からの信号波形は、電子検出器 9 9 b の設置方向と離れた方向を向いた凹凸 8 7 の左側の斜面で低くなり、電子検出器 9 9 b の設置方向側を向いた凹凸 8 7 の右側の斜面で高くなる。すなわち、図 9 ( c ) の信号波形は、電子検出器 9 9 b の設置方向に対する試料表面の向き ( 法線方向 ) を反映している。

40

【 0 0 5 5 】

図 9 ( b ) 、 ( c ) の信号波形の差分をとると、図 9 ( d ) のような試料の表面の差分プロファイルが得られる。この差分プロファイルでは、試料表面の平坦部分からの信号が消去される。上記のように、図 9 ( b ) 、 ( c ) の信号波形は、それぞれ電子検出器 9 9 a 及び電子検出器 9 9 b に対する凹凸 8 7 の表面の向きを反映しており、図 9 ( b ) 、 ( c ) の差分を取った差分プロファイルは試料表面の平坦部分に対する凹凸 8 7 の表面の傾斜の大きさを反映したものとなる。

50

## 【 0 0 5 6 】

したがって、図 9 ( d ) の波形を積分することにより、図 9 ( e ) のように、試料表面の凹凸 8 7 の形状を反映した積分プロファイルが得られる。この凹凸 8 7 を反映した積分プロファイルが凹であるか凸であるかを調べることにより、凹凸 8 7 が試料表面から突出した凸状のものか、試料表面がえぐられた凹状のものかを判別することができる。

## 【 0 0 5 7 】

また、予め高さが判明しているパターン（以下、参照パターンと呼ぶ）について、上記と同様の手順で積分プロファイルを求め、その参照パターンの積分プロファイルと凹凸 8 7 を反映した積分プロファイルとの高さを比較することにより、凹凸 8 7 の実際の高さを求めることができる。

10

## 【 0 0 5 8 】

そこで、本実施形態では、下記の方法により欠陥の高さを検出する。図 1 0 は、欠陥レビュー装置 1 0 0 による欠陥の凹凸及び高さの測定方法を示すフローチャートであり、図 1 1 は、同じく欠陥の凹凸及び高さの測定方法を説明する模式図である。なお、図 1 1 において、符号 3 1 は電子ビームを示し、符号 8 3 はラインパターンを示し、符号 8 5 は欠陥を示す。

## 【 0 0 5 9 】

まず、図 1 0 のステップ S 3 1 のように、制御部 1 0 の欠陥凹凸測定部 1 6 が欠陥の差分プロファイルを取得する。例えば図 1 1 ( a ) に示すように、欠陥凹凸測定部 1 6 が電子ビーム 3 1 を挟んで向かい合う 2 方向からの画像データ（左画像 a 5 及び右画像 a 6 ）を抽出する。そして、図 1 1 ( b ) に示すように、それらの画像データの差分を取ることにより差分画像 b 1 を求める。次に、その差分画像 b 1 において、左画像 a 5 及び右画像 a 6 の方向（左右方向）に平行で欠陥 8 5 を通るライン A を設定し、そのライン A に沿った部分の差分値を抽出する。これにより、図 1 1 ( c ) に示すように欠陥の差分プロファイルが求まる。

20

## 【 0 0 6 0 】

次に、図 1 0 のステップ S 3 2 において、欠陥凹凸測定部 1 6 はステップ S 3 1 で求めた差分プロファイルを積分して欠陥を反映した積分プロファイルを算出する。すなわち、図 1 1 ( c ) の差分プロファイルを積分してゆくことにより、図 1 1 ( d ) のように積分プロファイルを算出する。この積分プロファイルは、ライン A に沿った断面における欠陥の高さの分布を反映している。

30

## 【 0 0 6 1 】

次のステップ S 3 3 において、欠陥凹凸測定部 1 6 は、欠陥を反映した積分プロファイルが上に凸であるか凹であるかを調べることにより、欠陥が試料表面から突出した凸状のものであるか、試料表面がえぐれて形成された凹状のものであるかを判別する。例えば、図 1 1 ( a ) の欠陥 8 5 は、図 1 1 ( d ) の積分プロファイルに基づいて、凸状であると判別される。

## 【 0 0 6 2 】

次に、ステップ S 3 4 で、欠陥凹凸測定部 1 6 は、参照パターンの差分プロファイルを求める。例えば図 1 1 ( a ) に示す試料において、高さが判明しているラインパターン 8 3 がある場合には、そのラインパターン 8 3 を参照パターンとする。この場合には、ラインパターン 8 3 と直交する方向の画像データ（下画像 a 7 及び上画像 a 8 ）の差分を取った差分画像を生成する。そして、図 1 1 ( a ) のような、ラインパターン 8 3 と直交するライン B を設定し、そのライン B に沿った部分の差分値を差分画像から抽出して、参照パターンの差分プロファイルを求める。

40

## 【 0 0 6 3 】

次いで、ステップ S 3 5 で、欠陥凹凸測定部 1 6 は、ステップ S 3 4 で求めた参照パターンの差分プロファイルを積分して、参照パターンの積分プロファイル（図 1 1 ( e ) 参照）を求める。

## 【 0 0 6 4 】

50

その後、ステップ S 3 6 において、欠陥を反映した積分プロファイルのピーク値と、参照パターンの積分プロファイルのピーク値とを比較することにより、欠陥の高さ H を算出する。例えば、図 1 1 ( d )、( e ) に示すように、欠陥を反映した積分プロファイルのピーク値が I 1 であり、参照パターンの積分プロファイルのピーク値が I 2 である場合には、欠陥及び参照パターンの積分プロファイルのピーク値の比が  $I 1 / I 2$  と求まる。そして、図 1 1 ( a ) に示すように参照パターン（ラインパターン 8 3 ）の実際の高さが H 0 である場合には、欠陥及び参照パターンの積分プロファイルの比  $I 1 / I 2$  に参照パターンの高さ H 0 を乗ずることにより、欠陥 8 5 の高さ H ( =  $I 1 / I 2 \times H 0$  ) が求まる。

#### 【 0 0 6 5 】

10

以上のように、本実施形態によれば、観察領域 8 1 がラインアンドスペースパターンである場合には、差分画像に基づいて欠陥を迅速に検出できる。また、本実施形態によれば、試料の回転させることなく縦、横、斜め 4 5 ° 及び斜め 1 3 5 ° の 4 方向のラインアンドスペースパターン上の欠陥を検出できるので、欠陥の検出処理がより一層迅速化される。

#### 【 0 0 6 6 】

さらに、欠陥を反映した積分プロファイルに基づいて、欠陥が凹であるか又は凸であるかを判別できるとともに、参照パターンの積分プロファイルと比較することにより欠陥の高さを検出できる。

#### 【 0 0 6 7 】

20

（実験例 1 ）

実験例 1 の試料は、ガラス基板の上に厚さが約 8 0 n m 及び幅が約 8 0 n m のクロム ( Cr ) からなる複数のラインパターンを形成したものであり、各ラインパターンの間には幅が約 8 0 n m のスペースが設けられている。ここでは、ラインパターンは観察領域 8 1 において横方向に伸びているものとする。

#### 【 0 0 6 8 】

図 1 2 ( a ) は実験例 1 の試料の右画像 a 6 を示し、図 1 2 ( b ) は実験例 1 の試料の左画像 a 5 を示し、図 1 2 ( c ) は実験例 1 の試料の全加算画像 a 9 を示し、図 1 2 ( d ) は右画像 a 6 と左画像 a 5 との差分をとった差分画像を示す。

#### 【 0 0 6 9 】

30

図 1 2 ( a ) ~ ( c ) に示すように、観察領域 8 1 の中央部に矩形状のパターンが現れているが、従来であれば、この矩形状のパターンが欠陥であるか否かは設計データや正常なパターンの観察結果とのパターンマッチング（比較処理）を行うまで判別できない。

#### 【 0 0 7 0 】

しかし、本実験例では、図 1 2 ( d ) のように、左画像 a 5 と右画像 a 6 との差分を取ることで、ラインアンドスペースパターンが消去され、欠陥のみが現れた差分画像が得られる。これにより、欠陥を容易に検出できることが分かる。

#### 【 0 0 7 1 】

次に、検出した欠陥の差分プロファイル及び積分プロファイルを求めた結果を図 1 3 に示す。図 1 3 ( a ) は、図 1 2 ( d ) の I - I 線における差分プロファイルを示すグラフであり、図 1 3 ( b ) は、図 1 3 ( a ) の差分プロファイルを積分して得た積分プロファイルを示すグラフである。

40

#### 【 0 0 7 2 】

図 1 3 ( b ) のように、欠陥の積分プロファイルは上に凸状であることから、欠陥が凸状であることが分かる。また、欠陥の積分プロファイルのピーク値は約 6 0 0 （輝度値）であった。

#### 【 0 0 7 3 】

次に、参照パターンの積分プロファイルを算出し、欠陥の高さを求めた結果について説明する。図 1 4 は、実験例 1 の試料の差分画像、差分プロファイル及び積分プロファイルを示す図である。

50

## 【 0 0 7 4 】

図 1 4 ( a ) に示すように、実験例 1 では、ラインパターンを参照パターンとし、ラインパターンの延在方向と直交する方向に向かい合う上画像 a 8 及び下画像 a 7 の差分を取った差分画像を生成した。そして、その差分画像からラインパターンを横切る I I - I I 線での差分値を抽出することにより、図 1 4 ( b ) に示す差分プロファイルを得た。また、図 1 4 ( b ) の差分プロファイルを積分することにより、図 1 4 ( c ) に示すような参照パターンの積分プロファイルを求めた。

## 【 0 0 7 5 】

図 1 4 ( c ) に示すように、参照パターンの積分プロファイルのピーク値は約 1 0 0 0 (輝度値)であることが分かる。また、この参照パターンの(ラインパターン)の高さは 8 0 n m であることが分かっている。したがって、欠陥を反映した積分プロファイル及び参照パターンの積分プロファイルのピーク値の比は、 $6 0 0 / 1 0 0 0$ であり、これに参照パターンの高さ 8 0 n m を乗ずることにより、欠陥の高さが約 4 8 n m ( $= 6 0 0 / 1 0 0 0 \times 8 0 \text{ n m}$ )と求まる。

## 【 0 0 7 6 】

( 実験例 2 )

実験例 2 では、凹状の欠陥を有する試料の欠陥レビューを行った例について説明する。

## 【 0 0 7 7 】

実験例 2 の試料は、実験例 1 と同様に、ガラス基板の上に高さが約 8 0 n m 及び幅が約 8 0 n m 及びのクロム ( C r ) からなる複数のラインパターンを設けたものであり、各ラインパターンの間には幅が約 8 0 n m のスペースが設けられている。実験例 2 においても、ラインパターンは横方向に配置されているものとする。

## 【 0 0 7 8 】

図 1 5 ( a ) は、実験例 2 の試料の全加算画像 a 9 を示す図であり、図 1 5 ( b ) は、実験例 2 の試料の左画像 a 5 と右画像 a 6 との差分画像を示す図である。

## 【 0 0 7 9 】

図 1 5 ( a ) に示すように、観察領域 8 1 の中央部に矩形形状のパターンが確認できる。また、図 1 5 ( b ) の差分画像により、図 1 5 ( a ) の矩形形状のパターンが欠陥であることが分かる。

## 【 0 0 8 0 】

次に、欠陥の差分プロファイル及び積分プロファイルを求めた結果を図 1 6 に示す。図 1 6 ( a ) は、図 1 5 ( b ) の I I I - I I I 線での差分プロファイルを示す図であり、図 1 6 ( b ) は、図 1 6 ( a ) の差分プロファイルを積分して得られる欠陥の積分プロファイルを示す図である。

## 【 0 0 8 1 】

図 1 6 ( b ) に示すように、欠陥の積分プロファイルは凹状であり、この欠陥は、ラインアンドスペースパターンの一部が削れてできた凹状のパターンであることが分かる。また、欠陥の積分プロファイルのピーク値は約 - 2 8 0 (輝度値)であった。

## 【 0 0 8 2 】

次に、参照パターン(ラインパターン)の差分プロファイル及び積分プロファイルを求めた。図 1 7 ( a ) は、実験例 2 の試料の上画像 a 8 及び下画像 a 7 の差分をとった差分画像を示す図であり、図 1 7 ( b ) は図 1 7 ( a ) の I V - I V 線における差分プロファイルを示す図であり、図 1 7 ( c ) は図 1 7 ( b ) の差分プロファイルを積分して得られる参照パターンの積分プロファイルを示す図である。

## 【 0 0 8 3 】

図 1 7 ( c ) に示すように、参照パターンの積分プロファイルのピーク値は約 5 6 0 (輝度値)であった。また、参照パターンの高さは 8 0 n m であることが分かっている。したがって、欠陥及び参照パターンの積分プロファイルのピーク値の比は  $- 2 8 0 / 5 6 0$  であり、これに参照パターンの高さ ( 8 0 n m ) を乗ずることにより、図 1 5 ( a ) の欠陥の高さ ( 深さ ) が約 - 4 0 n m ( $= - 2 8 0 / 5 6 0 \times 8 0 \text{ n m}$ )と求まる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 4 】

(第1の実施形態の変形例)

上記の欠陥レビュー装置100では電子検出器を4台設けているが、これに限定されるものではなく、電子検出器9は少なくとも2台以上の任意の台数とすることができる。

## 【 0 0 8 5 】

図18は、第1の実施形態の変形例に係る欠陥レビュー装置100の電子検出器の配置を示す模式図であり、電子検出器を3台とした場合の配置を示している。

## 【 0 0 8 6 】

図18に示すように、電子検出器を3台とする場合には、第1～第3の電子検出器9a～9cは電子ビーム31の照射方向から見て電子ビーム31の光軸の周りに相互に120°の角度を開けて配置する。

10

## 【 0 0 8 7 】

また、信号処理部11は、各電子検出器9a～9cからの信号ch1～ch3に基づいて、各電子検出器9a～9cの設置方向から観察領域を写した第1の画像c1、第2の画像c2及び第3の画像c3を生成する。さらに信号処理部11は、隣接する電子検出器からの信号同士を加算して第4の画像c4、第5の画像c5及び第6の画像c6を生成するとともに、ch1～ch3を加算して全加算画像c7を生成する。なお、第4～第6の画像c4、c5、c6は、各電子検出器9a、9b、9cの中間の方向から観察領域を写したSEM画像に相当する。

## 【 0 0 8 8 】

20

図19は、図18に示す変形例における差分画像の生成方法を説明する模式図である。

## 【 0 0 8 9 】

本変形例では、60°及び120°のラインアンドスペースパターンである場合に、欠陥検査部12による欠陥の検出を行なう。

## 【 0 0 9 0 】

この場合、図19(a)のように、縦方向(0°)のラインアンドスペースパターンに対しては、第4の画像c4と第1の画像c1との差分をとってラインアンドスペースパターンが消去された差分画像を生成し、その差分画像に基づいて欠陥を検出する。また、図19(b)のように、60°方向のラインアンドスペースパターンに対しては、第6の画像c6と第3の画像c3との差分をとった差分画像に基づいて欠陥を検出する。さらに、図19(c)のように、120°方向のラインアンドスペースパターンの場合には、第5の画像c5と第2の画像c2との差分を取った差分画像に基づいて欠陥を検出する。

30

## 【 0 0 9 1 】

なお、本変形例の欠陥検査装置100において、電子検出器を2台としてもよい。この場合には、電子検出器を電子ビーム31の光軸を挟んで対向するように配置すればよく、ステージ7に回転機構を設けて任意の方向のラインアンドスペースパターン上の欠陥を検出できるようにしてもよい。

## 【 0 0 9 2 】

(第2の実施形態)

第2の実施形態では、任意の方向のラインパターンについて差分画像に基づいて欠陥を検出する方法について説明する。なお、本実施形態でも、図1に示す欠陥レビュー装置100により欠陥の検出を行う。

40

## 【 0 0 9 3 】

図20は本実施形態における欠陥レビュー方法を示すフローチャートである。

## 【 0 0 9 4 】

図20に示すように、欠陥レビュー装置100は、ステップS41において観察領域81を設定する。その後、ステップS42に移行して、観察領域81の設計データを抽出する。さらに、ステップS43において観察領域81に電子ビーム31を照射しつつ走査させて試料表面の観察を行う。なお、上記のステップS41～S43は図3を参照しつつ説明したステップS11～S13と同様である。

50

## 【 0 0 9 5 】

次に、ステップ S 4 4 において欠陥レビュー装置 1 0 0 の信号処理部 1 1 は各電子検出器 9 a ~ 9 d からの検出信号  $c h 1 \sim c h 4$  に基づいて観察領域 8 1 を複数の方向から写した画像を生成する。

## 【 0 0 9 6 】

図 2 1 は、ステップ S 4 4 における画像の生成方法を示すフローチャートである。

## 【 0 0 9 7 】

まず、図 2 1 のステップ S 5 1 において、信号処理部 1 1 は各電子検出器 9 a ~ 9 d からの検出信号  $c h 1 \sim c h 4$  に基づいて、左下画像 a 1、左上画像 a 2、右上画像 a 3 及び右下画像 a 4 を生成する。これらの画像は、観察領域 8 1 をそれぞれ、左下、左上、右上及び右下の各方向から写した S E M 画像に相当する。

10

## 【 0 0 9 8 】

次に、ステップ S 5 2 において、信号処理部 1 1 は、設計データを参照して、観察領域 8 1 上のパターンがラインアンドスペースパターンか否かを判断する。ステップ S 5 2 において、信号処理部 1 1 が観察領域 8 1 上のパターンがラインアンドスペースパターンであると判断した場合 ( Y E S ) にはステップ S 5 3 に移行し、ラインアンドスペースパターンでないと判断した場合 ( N O ) には画像の生成を終了する。

## 【 0 0 9 9 】

次に、ステップ S 5 3 において、信号処理部 1 1 は、設計データに基づいて、ラインアンドスペースパターンに含まれるラインパターンの角度 を検出する。

20

## 【 0 1 0 0 】

ここで、図 2 2 は、本実施形態におけるラインパターンの角度 の定義を示す図である。

## 【 0 1 0 1 】

本実施形態では、図 2 2 のように左右方向に延在する直線 M と、ラインパターン 8 3 の延在方向とのなす角度をラインパターンの角度 とする。また、 $180^\circ$  以上の角度のラインパターンは、その角度から  $180^\circ$  を差し引いた角度のラインパターンと同じものとして扱う。たとえば、 $200^\circ$  のラインパターンは  $20^\circ$  のラインパターンとして扱うものとする。

## 【 0 1 0 2 】

次に、ステップ S 5 4 に移行して、信号処理部 1 1 は、ラインパターンの角度 が  $45^\circ \sim 135^\circ$  であるか否かを判断する。ステップ S 5 4 において信号処理部 1 1 がラインパターンの角度 が  $45^\circ \sim 135^\circ$  であると判断した場合 ( Y E S ) には、ステップ S 5 5 に移行する。

30

## 【 0 1 0 3 】

図 2 3 ( a ) は、本実施形態において、ラインパターンの角度 が  $45^\circ \sim 135^\circ$  の場合の左画像、右画像、上画像及び下画像の生成方法を説明する模式図である。また、図 2 4 ( a ) ~ ( d ) は、本実施形態での左画像、右画像、上画像及び下画像の生成に用いる係数  $r 1 \sim r 4$  をそれぞれ示す図である。

## 【 0 1 0 4 】

ステップ S 5 5 では、信号処理部 1 1 は、図 2 3 ( a ) に示すように左画像 d 1 を、係数  $r 1$  を乗じた信号  $c h 1$  と係数  $r 2$  を乗じた信号  $c h 2$  とを加算して生成する。また、右画像 d 2 を、係数  $r 3$  を乗じた信号  $c h 3$  と係数  $r 4$  を乗じた信号  $c h 4$  とを加算して生成する。

40

## 【 0 1 0 5 】

さらに、信号処理部 1 1 は、上画像 d 3 を、係数  $r 3$  を乗じた信号  $c h 2$  と係数  $r 2$  を乗じた信号  $c h 3$  とを加算して生成し、下画像 d 4 を、係数  $r 4$  を乗じた信号  $c h 1$  と係数  $r 1$  を乗じた信号  $c h 4$  とを加算して生成する。

## 【 0 1 0 6 】

上記各画像 d 1 ~ d 4 の生成に用いる係数  $r 1 \sim r 4$  は、図 2 4 ( a ) ~ ( d ) にそれ

50

それぞれ示すように、ラインパターンの角度  $\theta$  に応じて  $0 \sim 1$  の間で周期的に変化する。ここでは、係数  $r_1$ 、 $r_3$  は  $(1 + \sin 2\theta) / 2$  で表され、係数  $r_2$ 、 $r_4$  は  $(1 - \sin 2\theta) / 2$  で表わされるものとする。

【0107】

上画像  $d_3$  の生成に用いる係数  $r_2$ 、 $r_3$  に着目すると、図 24 (b)、(c) に示すように、ラインパターンの角度  $\theta$  が、信号  $ch_3$  に対応する電子検出器 9c の設置方向である  $135^\circ$  に近づくほど、信号  $ch_3$  に係る係数  $r_2$  が増大し、信号  $ch_2$  に係る係数  $r_3$  が減少する。これとは逆に、ラインパターンの角度  $\theta$  が信号  $ch_2$  に対応する電子検出器 9b の設置方向である  $45^\circ$  に近づくと、信号  $ch_2$  に係る係数  $r_3$  が増大し、信号  $ch_3$  に係る係数  $r_2$  が減少する。このようにして、ラインパターンの角度  $\theta$  が電子検出器 9c の設置方向に近づくと、上画像  $d_3$  において電子検出器 9c からの信号  $ch_3$  の割合が増加する。また、ラインパターンの角度  $\theta$  が電子検出器 9b の設置方向に近づくと上画像  $d_3$  において電子検出器 9b からの信号  $ch_2$  の割合が増加する。

10

【0108】

そして、上画像  $d_3$  が観察領域を写す方向は、角度  $\theta$  が  $45^\circ \sim 135^\circ$  のラインパターンに対してラインパターンの延在方向に平行な方向となる。

【0109】

同様に、下画像  $d_4$  はラインパターンの延在方向に平行な方向から写した画像となる。

【0110】

一方、左画像  $d_1$  及び右画像  $d_2$  は、ラインパターンの延在方向に直交する方向から写した画像となる。

20

【0111】

以上のように、ステップ  $S_{55}$  において信号処理部 11 は、ラインパターンの延在方向に平行な方向から写した上画像  $d_3$  及び下画像  $d_4$  と、ラインパターンの延在方向に直交する方向から写した左画像  $d_1$  及び右画像  $d_2$  とを生成する。

【0112】

図 21 のステップ  $S_{54}$  において、信号処理部 11 がラインパターンの角度  $\theta$  が  $45^\circ \sim 135^\circ$  でないと判断した場合 (NO)、すなわちラインパターンの角度  $\theta$  が  $0^\circ \sim 45^\circ$  又は  $135^\circ \sim 180^\circ$  の場合は、ステップ  $S_{56}$  に移行する。

【0113】

図 23 (b) は、ラインパターンの角度  $\theta$  が  $0^\circ \sim 45^\circ$  または  $135^\circ \sim 180^\circ$  の場合における左画像、右画像、上画像及び下画像の生成方法を説明する模式図である。

30

【0114】

ステップ  $S_{56}$  において、信号処理部 11 は図 23 (b) に示すように左画像  $d_1$  を、係数  $r_2$  を乗じた信号  $ch_1$  と係数  $r_1$  を乗じた信号  $ch_2$  とを加算して生成する。また、右画像  $d_2$  を、係数  $r_4$  を乗じた信号  $ch_3$  と係数  $r_3$  を乗じた信号  $ch_4$  とを加算して生成する。

【0115】

さらに、信号処理部 11 は、上画像  $d_3$  を、係数  $r_2$  を乗じた信号  $ch_2$  と係数  $r_3$  を乗じた信号  $ch_3$  とを加算して生成し、下画像  $d_4$  を、係数  $r_1$  を乗じた信号  $ch_1$  と係数  $r_4$  を乗じた信号  $ch_4$  とを加算して生成する。

40

【0116】

ここでは、左画像  $d_1$  及び右画像  $d_2$  がラインパターンの延在方向に平行な方向から写した画像となり、上画像  $d_3$  及び下画像  $d_4$  はラインパターンの延在方向に直交する方向から写した画像となる。

【0117】

このようにして、ステップ  $S_{56}$  において信号処理部 11 は、ラインパターンの延在方向に平行な方向から写した左画像  $d_1$  及び右画像  $d_2$  と、ラインパターンの延在方向に直交する方向から写した上画像  $d_3$  及び下画像  $d_4$  とを生成する。

【0118】

50

以上により、信号処理部 11 による画像の生成（ステップ S44、図 20）が完了する。

【0119】

次に、図 20 のステップ S45 に移行して、欠陥検査部 12 及び比較検査部 13 により欠陥の検出を行う。

【0120】

図 25 は、ステップ S45 における欠陥の検出方法を示すフローチャートである。

【0121】

まず、図 25 のステップ S61 において、欠陥検査部 12 は観察領域 81 のパターンがラインアンドスペースパターンか否かを判断する。ステップ S61 において、欠陥検査部 12 が観察領域 81 のパターンがラインアンドスペースパターンであると判断した場合（YES）には、ステップ S62 に移行する。

【0122】

次に、ステップ S62 において、欠陥検査部 12 は、ラインアンドスペースパターンを構成するラインパターンの延在方向に平行であって、電子ビーム 31 の光軸を挟んで向かい合う 2 方向からの画像データの差分をとって差分画像を生成する。

【0123】

ここでは、ラインパターンの角度  $\theta$  が  $0^\circ < \theta < 45^\circ$  又は  $135^\circ < \theta < 180^\circ$  の場合には、左画像 d1 と右画像 d2 との差をとって差分画像を生成する。

【0124】

また、ラインパターンの角度  $\theta$  が  $45^\circ < \theta < 135^\circ$  の場合には、上画像 d3 と下画像 d4 との差をとって差分画像を生成する。

【0125】

さらに、ラインパターンの角度  $\theta$  が  $45^\circ$  の場合には、左上画像 a2 と右下画像 a4 との差をとって差分画像を生成する。また、ラインパターンの角度  $\theta$  が  $135^\circ$  の場合には左下画像 a1 と右上画像 a3 との差をとって差分画像を生成する。

【0126】

これにより、図 7 を参照しつつ説明したように、ラインパターンのエッジが消去されて欠陥 85 のみが残った差分画像が得られる。

【0127】

次に、図 25 のステップ S63 において、欠陥検査部 12 は、ステップ S62 で生成した差分画像に残ったパターンを欠陥として検出する。この場合、例えば差分画像において、所定の輝度値以上のエッジを検出することにより、欠陥のみを迅速に検出できる。

【0128】

一方、ステップ S61 で、欠陥検査部 12 が観察領域 81 のパターンがラインアンドスペースパターンでないと判断した場合（NO）には、ステップ S64 に移行して比較検査部 13 によりエッジ強調画像を生成する。

【0129】

その後、ステップ S65 において、比較検査部 13 がエッジ強調画像と設計データとを重ね合わせて比較して、エッジ強調画像のエッジが設計データのエッジと異なる部分を欠陥として検出する。

【0130】

以上により、欠陥の検出が完了する。

【0131】

その後、図 20 のステップ S46 に移行して、欠陥凹凸測定部 16 が欠陥の凹凸及び高さの測定を行う。なお、本実施形態の欠陥凹凸測定部 16 による欠陥の凹凸及び高さの測定は図 9 ~ 図 11 を参照しつつ説明した方法で行う。この場合、参照パターンの積分プロファイルは、ラインパターンの延在方向に直交する 2 方向からの画像に基づいて求めればよい。

【0132】

10

20

30

40

50

以上のように、本実施形態によれば、隣接する信号同士にラインパターンの角度に応じて変化する係数を乗じた上で加算することにより、任意の角度のラインパターンに対して、ラインパターンの延在方向に平行な方向から写した画像を生成する。これにより、任意の角度のラインパターンに対して、差分画像に基づいて迅速に欠陥を検出できる。

**【 0 1 3 3 】**

( 実験例 3 )

実験例 3 の試料は、ガラス基板の上に厚さが約 80 nm 及び幅が約 400 nm のクロム ( Cr ) からなる複数のラインパターンを形成したものであり、各ラインパターンの間には、幅が約 400 nm のスペースが設けられている。本実験例において、ラインパターンの角度は 105 ° とした。

10

**【 0 1 3 4 】**

図 26 ( a ) は、実験例 3 の試料の左下画像 a 1 を示し、図 26 ( b ) は実験例 3 の試料の左上画像 a 2 を示し、図 26 ( c ) は実験例 3 の試料の右上画像 a 3 を示し、図 26 ( d ) は実験例 3 の試料に右下画像 a 4 を示す。

**【 0 1 3 5 】**

次に、係数  $r_1$ 、 $r_3$  を 0.25 とし、係数  $r_2$ 、 $r_4$  を 0.75 とし、図 23 ( a ) に示す方法で左画像 d 1、右画像 d 2、上画像 d 3 及び下画像 d 4 を生成した。続いて、生成した各画像 d 1 ~ d 4 から図 26 ( a ) の V I - V I 線に対応する部分の輝度の分布を抽出した。

**【 0 1 3 6 】**

20

図 27 ( a ) は、左画像 d 1 における輝度の分布を示し、図 27 ( b ) は右画像 d 2 における輝度の分布を示す。また、図 27 ( c ) は上画像 d 3 における輝度の分布を示し、図 27 ( d ) は下画像 d 4 における輝度の分布を示す。

**【 0 1 3 7 】**

次に、図 27 ( a ) の輝度の分布と図 27 ( b ) の輝度の分布との差分をとることにより、左画像 d 1 及び右画像 d 2 の差分プロファイルを求めた。また、図 27 ( c ) の輝度の分布と図 27 ( d ) の輝度の分布との差分をとることにより、上画像 d 3 及び下画像 d 4 の差分プロファイルを求めた。

**【 0 1 3 8 】**

図 28 ( a ) は、左画像 d 1 及び右画像 d 2 の差分プロファイルを示し、図 28 ( b ) は上画像 d 3 及び下画像 d 4 の差分プロファイルを示す。

30

**【 0 1 3 9 】**

図 28 ( a ) に示すように、ラインパターンの延在方向に直交する方向から写した左画像 d 1 及び右画像 d 2 の差分プロファイルでは、ラインパターンのエッジが強調されて、エッジ部分に比較的大きな差分値の凸部及び凹部が表れている。

**【 0 1 4 0 】**

これに対し、図 28 ( b ) に示すように、ラインパターンの延在方向に平行な方向から写した上画像 d 3 及び下画像 d 4 の差分プロファイルでは、ラインパターンのエッジ部分の差分値の凹凸が図 28 ( a ) よりも小さくなり、ラインパターンのエッジがほぼ消去される。

40

**【 0 1 4 1 】**

以上の結果から、ラインパターンの角度 が 105 ° の場合でも、差分画像でラインパターンを消去できることが確認できた。

**【 0 1 4 2 】**

次に、ラインパターンの延在方向に直交する方向から写した左画像 d 1 及び右画像 d 2 の差分プロファイルを積分して積分プロファイルを求めた。図 29 は、図 28 ( a ) の差分プロファイルを積分して求めた積分プロファイルを示している。

**【 0 1 4 3 】**

図 29 に示すように、ラインパターンの延在方向に直交する方向から写した左画像 d 1 及び右画像 d 2 の積分プロファイルでは、ラインパターンの形状を反映して上に凸のピー

50

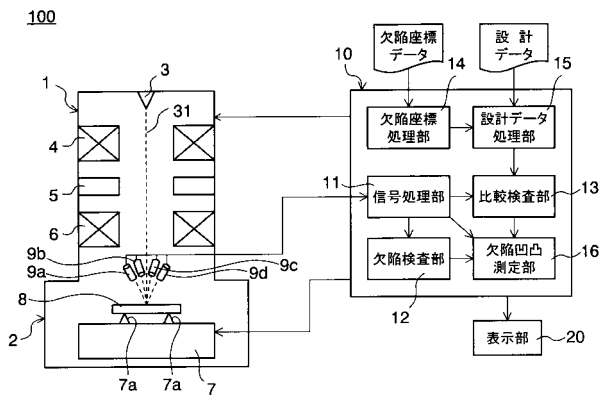
クが現れる。この積分プロファイルは参照パターンの積分プロファイルとして、欠陥の高さの測定に使用できる。

【符号の説明】

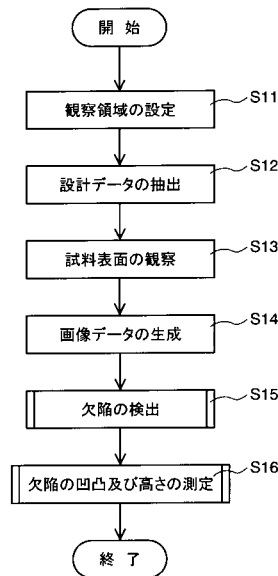
【0144】

1...電子走査部、2...チャンパー、3...電子銃、4...コンデンサレンズ、5...偏向コイル、6...対物レンズ、7...ステージ、7a...保持部材、8...試料、9a~9d...電子検出器、10...制御装置、11...信号処理部、12...欠陥検査部、13...比較検査部、14...欠陥座標処理部、15...設計データ処理部、16...欠陥凹凸測定部、17...記憶部、20...表示部、31...電子ビーム、81...観察領域、82...スペース、83...ラインパターン、83a、83b、85a、85b...エッジ、85...欠陥、87...凹凸。

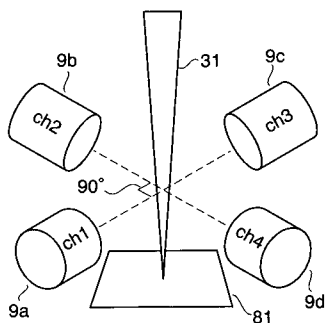
【図1】



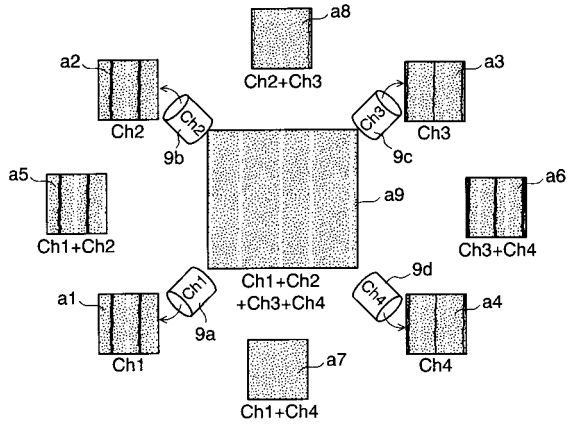
【図3】



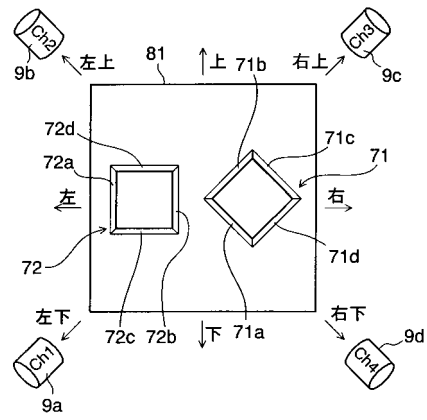
【図2】



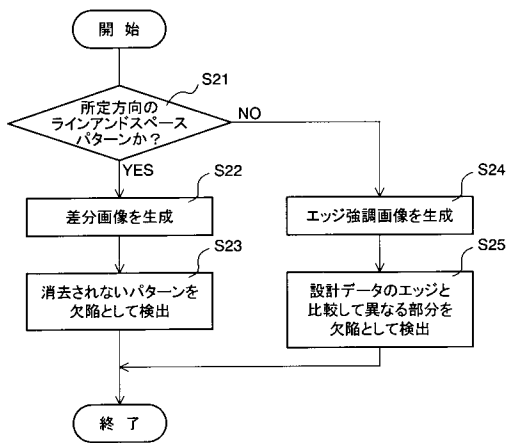
【図4】



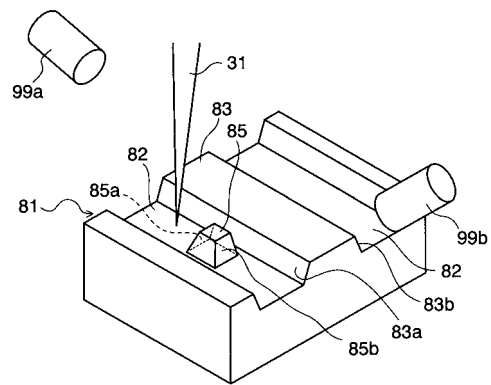
【図5】



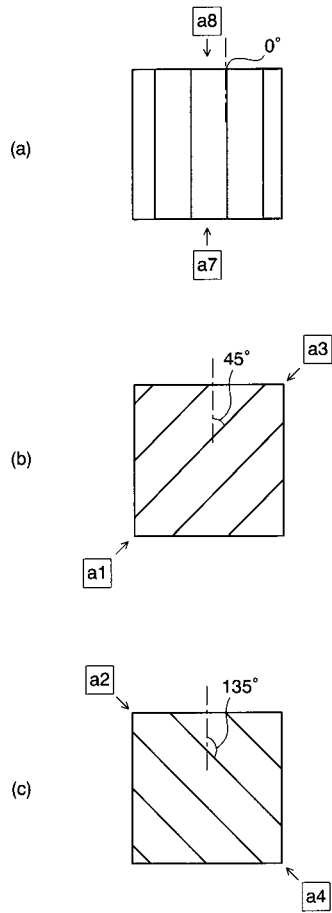
【図6】



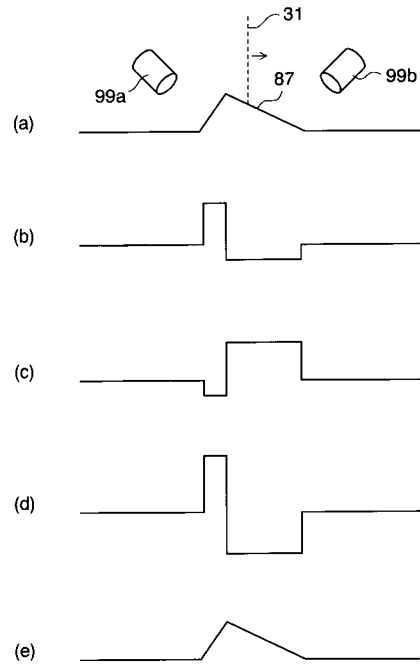
【図7】



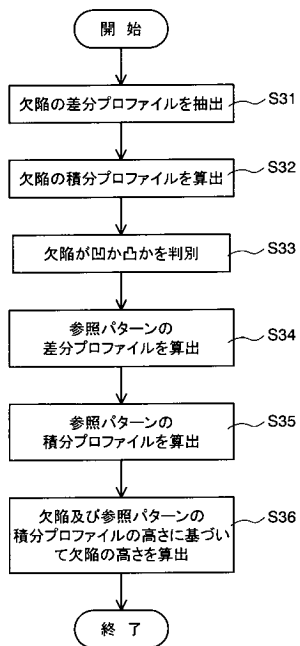
【図8】



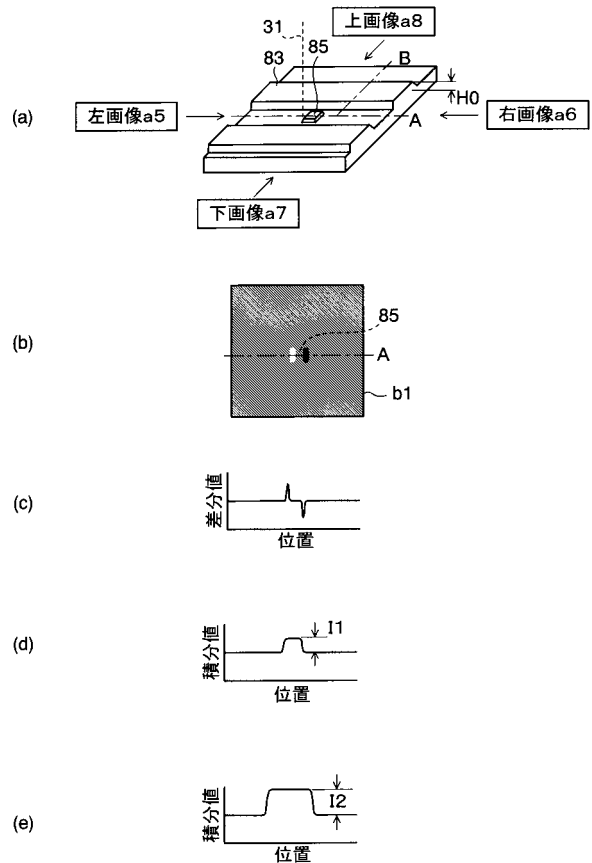
【図9】



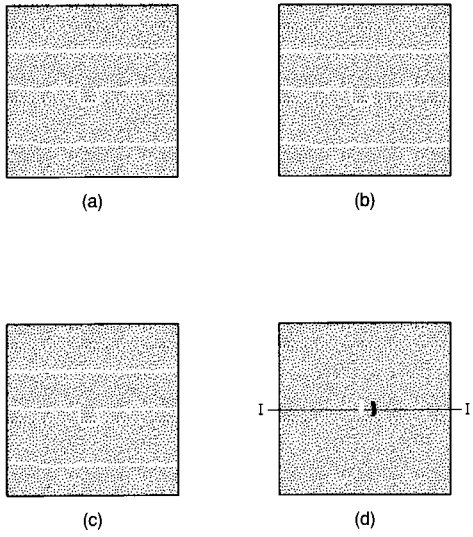
【図10】



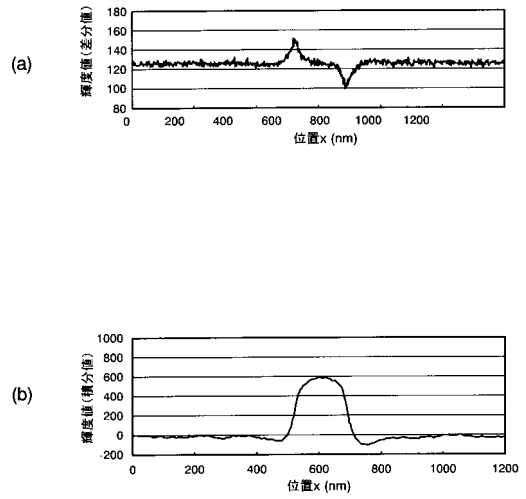
【図11】



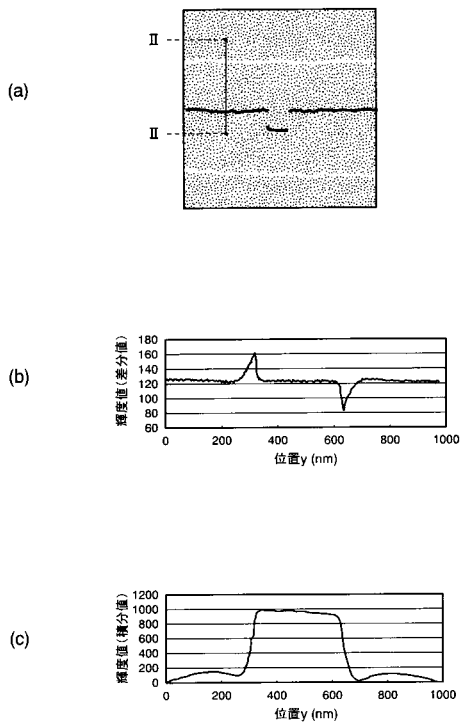
【 図 1 2 】



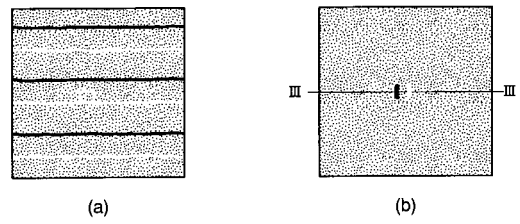
【 図 1 3 】



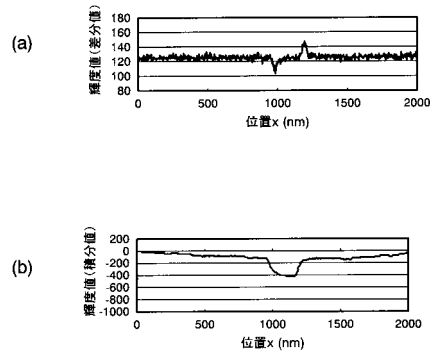
【 図 1 4 】



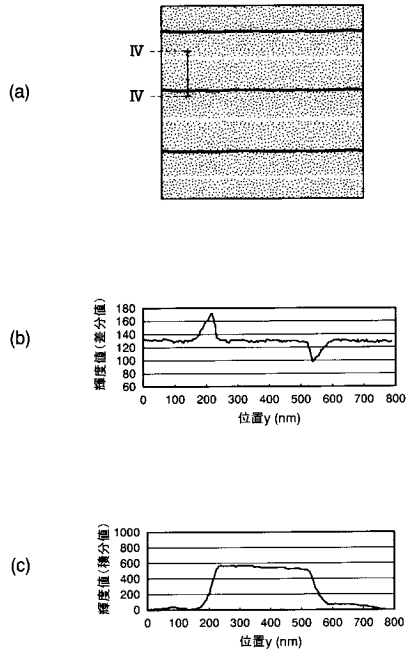
【 図 1 5 】



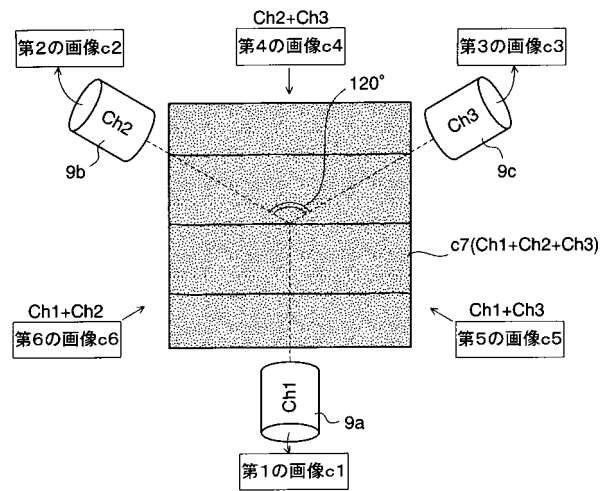
【 図 1 6 】



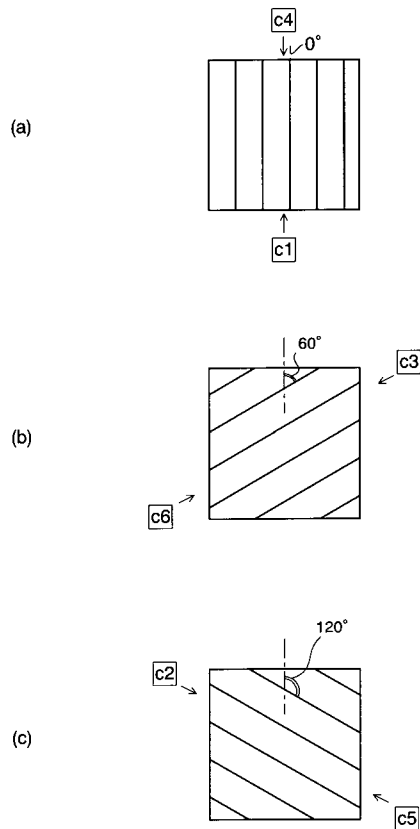
【図17】



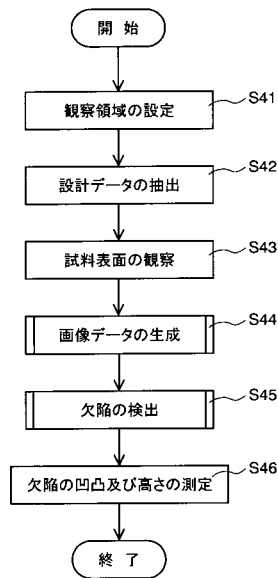
【図18】



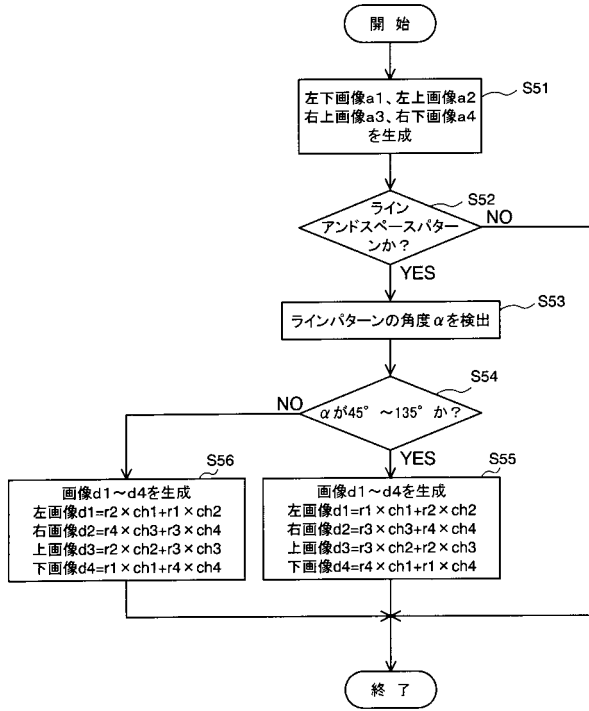
【図19】



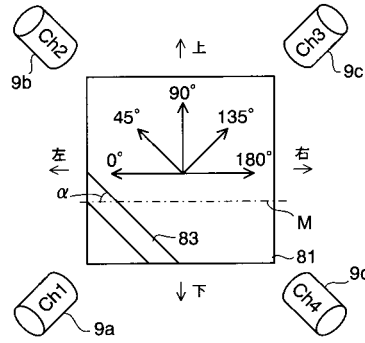
【図20】



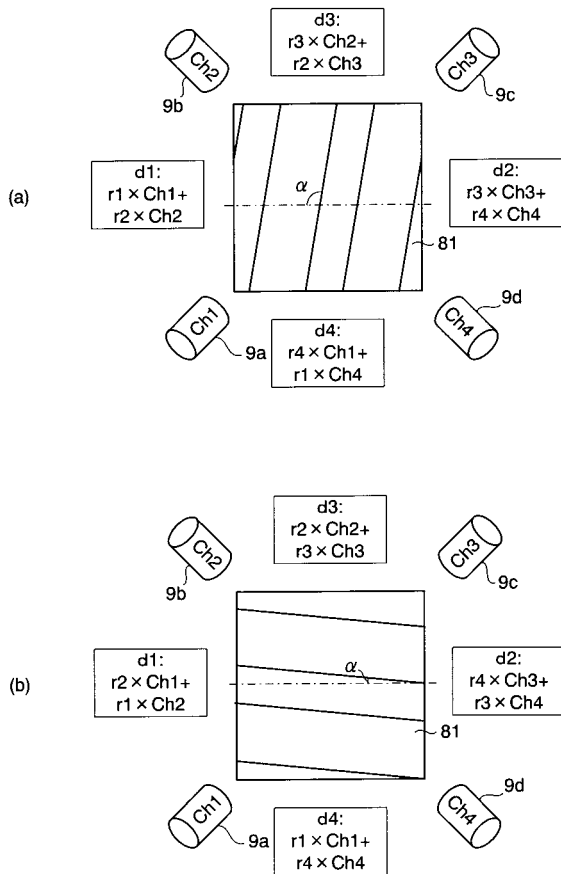
【図21】



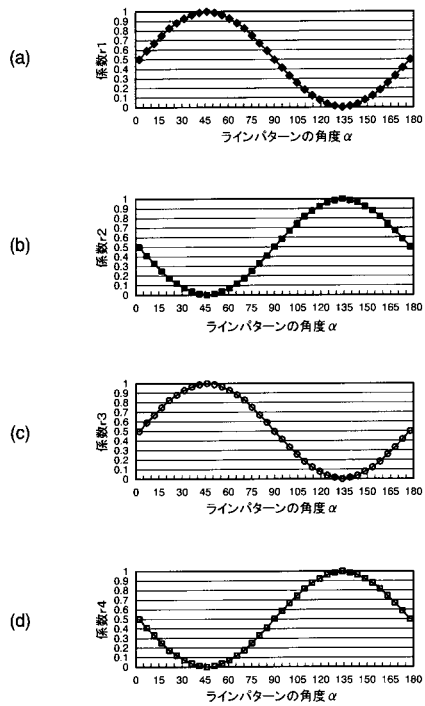
【図22】



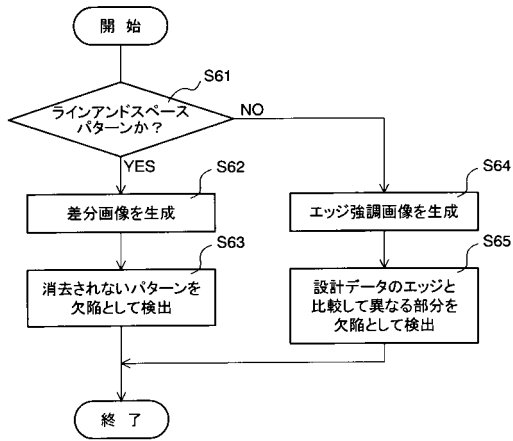
【図23】



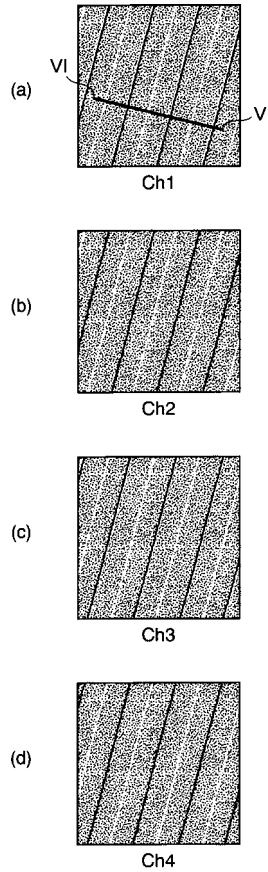
【図24】



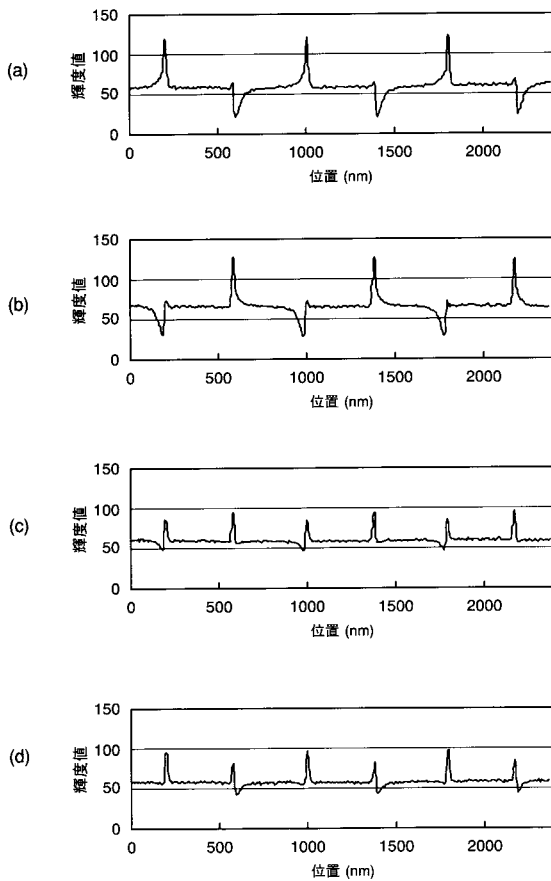
【図 25】



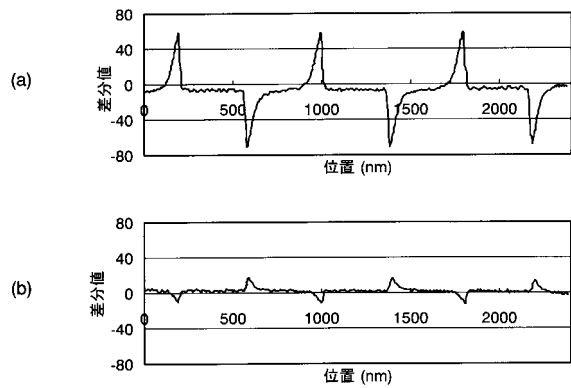
【図 26】



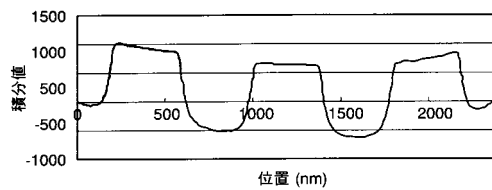
【図 27】



【図 28】



【図 29】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 J 37/244

審査官 藤田 都志行

(56)参考文献 特開平01-115043(JP,A)

特開2009-141124(JP,A)

特開2002-116161(JP,A)

米国特許出願公開第2010/0136717(US,A1)

永森 彰、鈴木 融、山藤 泉、菅野 明郎、伊藤 稔、「LSI微細配線パターンの高精度なエッジラフネス検出手法」、精密工学会誌論文集、2006年 5月 5日、Vol. 72, No. 5, p. 612-618

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 N 2 3 / 2 2 5

G 0 1 B 1 1 / 0 2

H 0 1 L 2 1 / 6 6

H 0 1 J 3 7 / 2 2

H 0 1 J 3 7 / 2 4 4

J S T P l u s ( J D r e a m I I I )

C i N i i